


# 汽车电工电子技术

## (第3版)

---

● 主编 张华 杨喜权



 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等职业教育“新形态”精品系列教材·汽车类

# 汽车电工电子技术

(第3版)

张 华 杨喜权 主 编  
高树德 主 审

“互联网+”教材



全书配套资源

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书根据汽车电气与电控技术等专业课程的特点,将电工技术、电子技术的基本知识与内容进行了适当整合。内容主要包括六个单元:直流电路,交流电路,磁路、变压器与继电器,电动机在汽车中的应用,晶体管及其应用,数字电子技术基础。

本书适合作为高等院校机械制造大类,特别是汽车类专业选用,也可作为社会岗位培训用书。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车电工电子技术 / 张华, 杨喜权主编. — 3 版. — 北京: 北京理工大学出版社, 2019. 10 (2019. 11 重印)

ISBN 978 - 7 - 5682 - 7810 - 2

I. ①汽… II. ①张… ②杨… III. ①汽车 - 电工技术 - 高等职业教育 - 教材②汽车 - 电子技术 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①U463. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 242031 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 唐山富达印务有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 20

字 数 / 470 千字

版 次 / 2019 年 10 月第 3 版 2019 年 11 月第 2 次印刷

定 价 / 48.00 元

责任编辑 / 高雪梅

文案编辑 / 高雪梅

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

---

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

## 第3版前言

本教材注重“十三五”高等教育的需求，适应新一轮科技和产业变革的加速演进，突出电工电子技术基础知识的掌握和在汽车上的实际应用。本版在第2版的单元模式及保留了传统教材特点的基础上，增加了对核心知识点及工艺的可视化教学，通过动画、微课形式对知识点进行由浅入深、由外而内、深入浅出的讲解，适应学生多种主体知识结构的个性化学习，为工业制造的转型升级提供高质量的技术人才，尤其针对机械大类，特别是汽车各专业（包括新能源汽车专业）奠定基础。同时对第2版教材重新调整、归纳，引入电子技术、光电技术、传感技术最新基础知识要点，展示了基本工作原理的过程，并以任务驱动、理论知识与实际应用相结合，实现集成创新。

本教材有以下特点：

(1) 以基础知识体系为框架，以简单而又典型的汽车电器为载体引入，完成基础学科支撑专业课的过渡，起到了承上启下的作用。例如，单元一直流电路中介绍电阻混联在汽车中的应用时，重点分析了直流单臂电桥（也称惠斯通电桥），采用电压比较法证明了惠斯通电桥平衡原理，利用其平衡原理构成电测仪器，不仅可以测电阻，也可以测电容、电感，并可通过这些物理量的测量来间接测量非电学量，如温度、压力等，在汽车自动化仪表和自动控制中有着广泛应用。

(2) 通过六个小视频单元介绍，巧妙地将知识点与教材体系和实际运用结合起来。力图“弱化理论较深的定量分析”“强化基础知识与技术运用”，做到由浅入深、由简到繁、由电路原理到实际电路的运用。例如在单元一中，介绍了电阻串并联分流、分压知识，引入了汽车调速原理，认识了汽车电路的特点，学习了由汽车后窗玻璃除霜器线路图画出电路原理图，并引出基尔霍夫定律；在单元三中，重点介绍磁电效应，即霍尔效应现象，指出它是研究半导体材料性能的基本方法，分析了其产生的原因，让学生了解如何将非电量、非磁量变成电量来进行检测和控制，实现传感技术的基本原理，为汽车各种各样传感器（压力、温度、位移、振动和加速度等）的应用打下了坚实的基础；通过介绍电磁式继电器，我们掌握了利用小的开关信号控制大的开关动作的器件的工作原理，了解汽车喇叭开关电路的应用；在单元四中，重点介绍掌握直流电动机的基本原理，了解永磁型和双绕组串励式两种直流电动机，并知晓其在汽车车窗中的应用，特别是分析电磁转矩，结合霍尔开关集成电路，再加永久磁铁和导磁片组成，就引出了汽车位置、转速和转角传感器，为单元五和单元六做了铺垫，为汽车传感技术打下了坚实的基础；最后通过学习数字逻辑电路基本知识和门电路的掌握、组合电路和时序电路知识的应用，学生知晓了电子技术在汽车中的应用和了解了汽车电子控制原理。

本教材由长春职业技术学院张华教授、东北师范大学杨喜权教授任主编，由长春职业技术学院张春蓉、郭旭、汤思佳任副主编。参与本教材编写的还有王琛、徐博强等老师。其中，单元一由张春蓉编写，单元二、单元三由郭旭编写，单元四由汤思佳编写，单元五由杨喜权编写，单元六由张华编写，王琛负责所有单元汽车电路的应用编辑，徐博强负责所有单



元视频资料录制、剪辑工作，张华和杨喜权负责所有 PPT 课件制作。

教材在教学资源整理过程中得到长春职业技术学院苏晓楠、王璐、杨甜三位老师和汉能移动能源控股集团有限公司李春玉工程师的大力支持，在此表示感谢！由于是专业基础课程，知识点较多，教学资源以后还会增加。限于编者水平，书中难免有错误或不妥之处，恳请广大读者提出宝贵意见，以便进一步修改和完善。

编者

# 目录

C O N T E N T S · 0 0 1



## 单元一 直流电路

单元描述 / 001

任务 1.1 直流电路基本知识及汽车电路特点 / 002

1.1.1 电路的基本知识 / 002

1.1.2 电路的工作状态及电气设备额定值 / 008

1.1.3 汽车电路组成、特点及电气元件 / 011

1.1.4 常用电子元器件——电阻器 / 021

1.1.5 电阻串并联计算与应用 / 025

任务 1.2 汽车简单电路的识读与计算 / 029

1.2.1 汽车电路识读与计算 / 029

1.2.2 基尔霍夫定律 / 030

1.2.3 复杂电路计算 / 032

任务 1.3 技能训练 / 040

1.3.1 元器件识别及万用表使用 / 040

1.3.2 Multisim 10 仿真软件的操作使用 / 046

1.3.3 用 Multisim 10 验证基尔霍夫定律 / 057

1.3.4 用 Multisim 10 验证叠加定理 / 060

单元小结 / 062

单元习题 / 062

## 单元二 交流电路

单元描述 / 067

任务 2.1 正弦交流电路 / 068

2.1.1 正弦交流电的基本知识 / 068

2.1.2 正弦量的三要素及有效值 / 069

2.1.3 正弦量的四种表示方法 / 071





- 4.1.3 直流电动机的分类 / 134
- 4.1.4 直流电机的铭牌、系列及接线端 / 135
- 4.1.5 直流电动机的工作原理 / 136
- 4.1.6 电磁转矩与反电动势 / 137
- 4.1.7 直流电动机在汽车中的应用 / 138
- 4.1.8 直流电动机常见故障 / 141
- 任务 4.2 步进电动机 / 142
  - 4.2.1 步进电动机的组成 / 142
  - 4.2.2 步进电动机的工作原理 / 143
  - 4.2.3 步进电动机的分类 / 145
  - 4.2.4 步进电动机的特征 / 147
  - 4.2.5 步进电动机在汽车中的应用 / 148
- 任务 4.3 三相异步电动机 / 148
  - 4.3.1 三相交流异步电动机的组成 / 149
  - 4.3.2 三相异步电动机的工作原理 / 150
  - 4.3.3 三相异步电动机的转速 / 150
  - 4.3.4 三相异步电动机的铭牌 / 151
  - 4.3.5 三相异步电动机的转动原理 / 152
  - 4.3.6 三相异步电动机的转矩和机械特性 / 153
- 任务 4.4 永磁同步电动机 / 154
  - 4.4.1 永磁同步电动机的组成 / 154
  - 4.4.2 永磁同步电动机的工作原理 / 157
  - 4.4.3 永磁同步电动机的特点 / 157
- 任务 4.5 技能训练 / 158
- 单元小结 / 159
- 单元习题 / 160

## 单元五 晶体管及其应用

- 单元描述 / 162
- 任务 5.1 半导体器件 / 163
  - 5.1.1 半导体基本特征 / 163
  - 5.1.2 PN 结 / 166
  - 5.1.3 半导体二极管 / 167
  - 5.1.4 晶体管 / 174
  - 5.1.5 晶闸管 / 179
- 任务 5.2 汽车直流电源 / 181
  - 5.2.1 整流电路 / 181
  - 5.2.2 电容及应用 / 185
  - 5.2.3 集成三端稳压电路 / 191
  - 5.2.4 单相可控整流电路 / 193
  - 5.2.5 晶闸管的保护 / 195
- 任务 5.3 晶体管放大电路 / 196
  - 5.3.1 基本放大电路 / 196



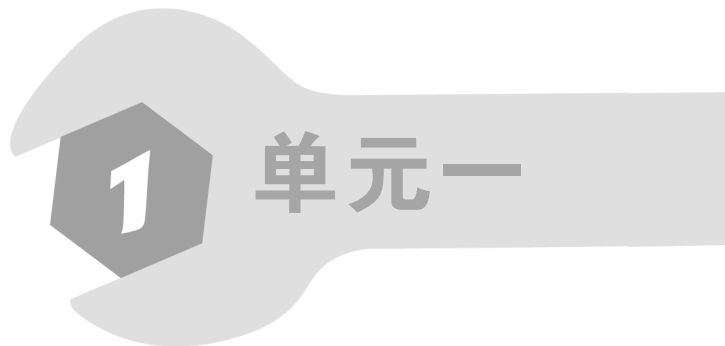
- 5.3.2 分压式稳定静态工作点偏置电路 / 202
- 5.3.3 多级放大器和负反馈放大器 / 202
- 5.3.4 汽车闪光器电路分析 / 207
- 任务5.4 集成运算放大器在汽车中的应用 / 209
  - 5.4.1 集成运算放大器 / 209
  - 5.4.2 集成运算放大器组成的几种基本放大器 / 214
- 任务5.5 技能训练 / 217
  - 5.5.1 直流电源电路仿真实验 / 217
  - 5.5.2 直流稳压电源的制作 / 220
  - 5.5.3 单管放大电路仿真实验 / 221
  - 5.5.4 汽车闪光器仿真设计 / 224
  - 5.5.5 汽车闪光器的制作 / 226
- 单元小结 / 228
- 单元习题 / 229

## 单元六 数字电子技术基础

- 单元描述 / 233
- 任务6.1 数字电路基本知识 / 234
  - 6.1.1 数字电路概述 / 234
  - 6.1.2 数制与码制 / 236
  - 6.1.3 逻辑代数 / 240
  - 6.1.4 逻辑门电路 / 247
  - 6.1.5 集成门电路 / 251
- 任务6.2 组合逻辑电路与时序逻辑电路 / 254
  - 6.2.1 组合逻辑电路 / 254
  - 6.2.2 时序逻辑电路 / 266
- 任务6.3 信号的采集与转换 / 278
  - 6.3.1 电子技术在汽车中的应用 / 278
  - 6.3.2 汽车电子控制系统 / 278
  - 6.3.3 A/D、D/A 转换器的应用 / 280
- 任务6.4 技能训练 / 283
  - 6.4.1 逻辑门电路的测试仿真实验 / 283
  - 6.4.2 集成8线—3线优先编码器仿真实验 / 287
  - 6.4.3 七段数码显示电路仿真实验 / 289
  - 6.4.4 三变量表决器仿真实验 / 291
  - 6.4.5 JK触发器仿真实验 / 292
  - 6.4.6 计数、译码和显示电路仿真实验 / 293
- 单元小结 / 294
- 单元习题 / 295

## 单元习题参考答案 / 299

## 参考文献 / 305



## 直流电路

### 单元描述

汽车电路绝大多数是直流电路。通过对直流电路及汽车电路的识图与分析,学生应掌握电路的基本组成、基本物理量、工作状态、基本定律及汽车电路特点;能够用万用表进行测量,能利用 Multisim 10 电子仿真软件对电路的三种基本状态(通路、短路、断路)进行判断;能对基本定律(欧姆定律、基尔霍夫定律、叠加定理等)进行实验和验证;了解常用汽车元器件符号,了解汽车原理图、电路连接图和定位图;通过对汽车除霜电路的识读与检测,加深对汽车电路连接图的理解。实现做中学,手脑并用,学做合一,实现理实一体化教学。



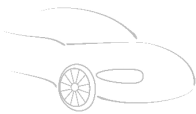
#### 知:识:要:求

1. 掌握直流电路的组成、基本元器件符号及电路图的识读方法。
2. 掌握汽车电路的基本特点。
3. 掌握电路中电位的计算方法。
4. 重点掌握基尔霍夫定律的内容及应用。
5. 了解戴维南定理、叠加定理的分析方法。



#### 技:能:要:求

1. 能够进行除霜电路的电压、电流、电阻等物理量的基本测量。
2. 会用万用表测量直流电路中的电阻、电压及电流值。
3. 能够操作 Multisim 10 电子仿真软件进行简单电路实验,如电路的三种状态。
4. 能够操作 Multisim 10 电子仿真软件进行欧姆定律、基尔霍夫定律、叠加定理验证。



参:考:学:时

22 学时 [10 (理论) +6 (实践) +6 (仿真软件)]

任务 1.1 直流电路基本知识及汽车电路特点

任务 1.2 汽车简单电路的识读与计算

任务 1.3 技能训练

## 任务 1.1 直流电路基本知识及汽车电路特点



### 1.1.1 电路的基本知识

汽车的很多领域中都使用电气设备,这些电气设备提供各种功能,当电流流经电阻时,会对电阻起作用而实现许多功能。

#### 1.1.1.1 电的三大效应

##### 1. 热效应

当电流经过电阻时,电阻会产生热的现象,具体应用如图 1-1(a)、(b)所示。

##### 2. 光效应

当电流经过电阻时,电阻会发光,具体应用如图 1-1(e)所示。

##### 3. 电磁效应

当电流经过导体或线圈时,导体或线圈周围空间会产生电磁场,具体应用如图 1-1(c)~(f)所示。

所有的物质都是由原子组成的,原子又由原子核和电子组成,金属原子中含有自由电子,自由电子易于自由地脱离原子核,金属原子内自由电子的流动即产生电流,因此,电路中的电流就是电子在导体中运动产生的。在金属(导体)两端施加电压时,电子便从负极流向正极,电子流向与电流方向相反。

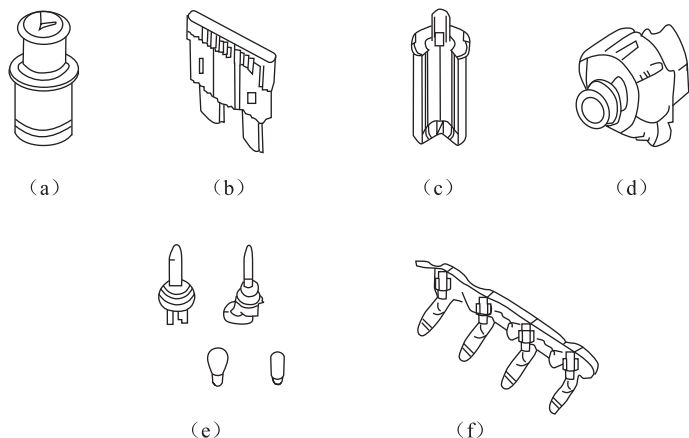


图 1-1 电气设备

(a) 点烟器; (b) 熔丝; (c) 点火线圈; (d) 交流发电机; (e) 灯泡; (f) 喷油器

### 1.1.1.2 电的三要素

电流、电压、电阻是电路中三个重要的物理量，通常称为电的三要素，它们之间的关系如图1-2所示。

(1) 电流是指流经电路的电流强度。

单位：A（安培）。

(2) 电压是指使电流流过电路的一种压力。电压越高，流过电路的电流就越大。

单位：V（伏特）。

(3) 电阻是指电子通过物体的困难程度。

单位： $\Omega$ （欧姆）。

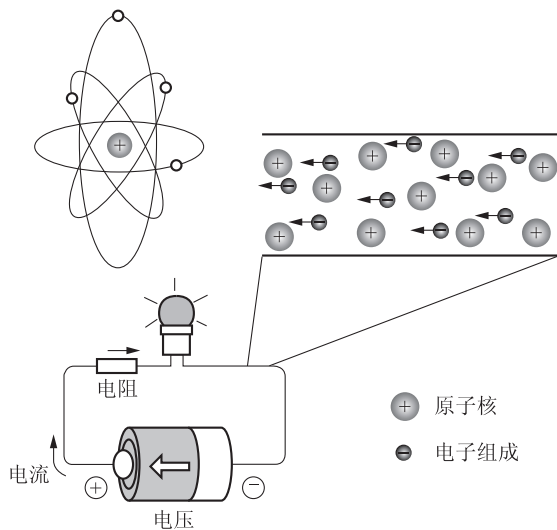


图 1-2 电的三要素



动画 1-1  
电的三要素



微课 1-1  
电路组成

### 1.1.1.3 电路的组成

电路就是电流所经过的路径，形成一个闭合回路。或者说是为了实现某种功能，由各种电气设备和器件按一定方式连接而成，从而形成的电流通路称为电路。

每个电路不论其作用如何、结构多么复杂，一般由电源、负载（用电器）、导线和开关四部分组成（也可以将导线和开关组合为中间环节，称电路一般由电源、负载和中间环节三部分组成）。

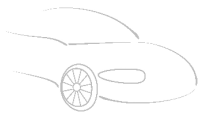
(1) 电源是把其他形式的能量转换成电能的装置，或者说是供应电能的装置。常见的有干电池、蓄电池、发电机、信号源等。汽车电路中的电源主要由蓄电池和带整流器的交流发电机组成。

(2) 负载是指用电的装置或设备，如电灯、电烙铁、电机等。汽车电路中的负载很多，如照明灯、信号灯、车用点烟器、起动机、汽车音响、空调、电视机等。

(3) 导线是连接电源与用电器的金属线，它把电源产生的电能输送到电器，常用材料有铜、铝等。

(4) 开关是控制电路接通或断开的器件，如手电筒的按钮、汽车上的点火开关、转向灯开关和各种继电器等。

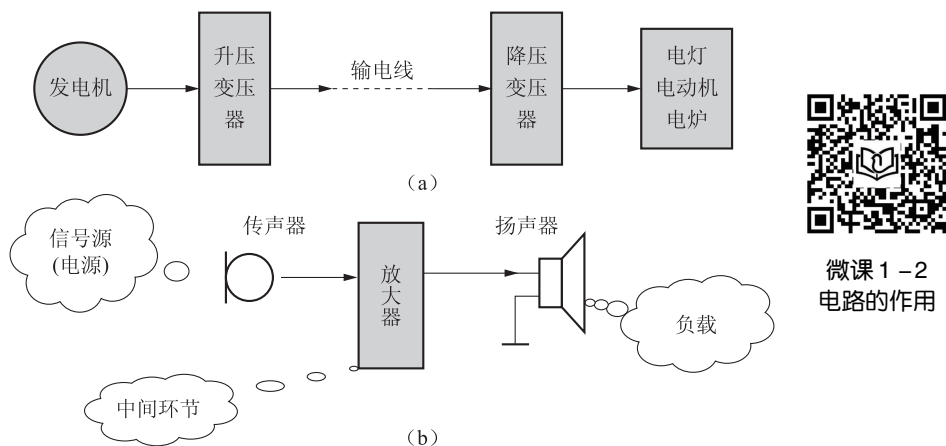
简单电路的中间环节是由连接导线所组成的，而复杂电路的中间环节是由各种控制设



备、监测仪表等所组成的网络，电源接它的输入端，负载接它的输出端。

#### 1.1.1.4 电路的作用

实际电路的种类很多，形式和结构也各不相同，但其作用只有两类：一是可以进行电能的传输和分配，以实现与其他形式的能量的相互转换，通常称为“电工技术”，俗称“强电”。其典型实例是电力系统中的发电机，就是将其他形式的能量转换为电能，再通过变压器和输电线路将电能输送给工厂、农村和千家万户的用电设备，即从发电、输电、配电到用电的过程。这些用电设备再将电能转换为机械能、热能、光能或其他形式的能量，图 1-3 (a) 就是一个简单的电力系统电路。二是可以实现信号的传递和转换，进行信号的传输、交换和处理，通常称为“电子技术”，俗称“弱电”。例如，生产过程的自动控制；电视、广播的发射和接收；汽车各种信号、数据的存储和处理；无线电通信电路和检测电路等。图 1-3 (b) 就是一个简单的扩音机电路示意图。



微课 1-2  
电路的作用

图 1-3 两种典型的电路框图

(a) 电力系统电路示意图；(b) 扩音机电路示意图

#### 1.1.1.5 电路的模型

任何实际电路都是由多种电路元件组成的。电路中各种元件所表征的电磁现象和能量转换的特征都比较复杂，而按实际电路元件做出电路图有时也比较困难。因此在分析和计算实际电路时，是用理想电路元件及其组合来近似替代实际电路元件组成的电路，这给分析和计算带来很多方便。所以，初学者必须要对电路建立模型概念。

**电路模型：**由理想元件组成与实际电路元件相对应，并用统一规定的符号表示而构成的电路，就是实际电路的模型，或称为电路模型。它是实际电路电磁性质的科学抽象和概括，通过分析电路模型来学习实际电路的性能和所遵循的普遍规律。

图 1-4 是几种常见的理想电路元件的图形符号。

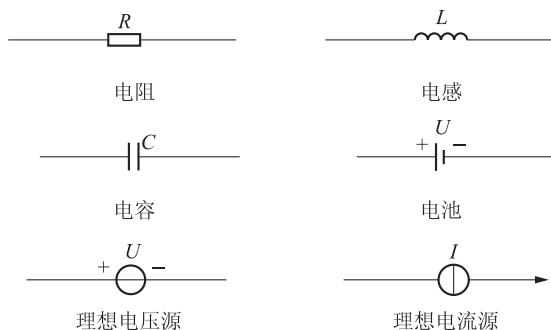


图 1-4 几种常见的理想电路元件的图形符号

图 1-5 是一个最简单的电路模型，

其实际电路是一常见的电灯电路。实际元件有干电池、灯泡、开关和导线。在电路模型中电阻  $R_L$  就是灯泡，电源电动势  $U_s$  和其内阻  $R_s$  就是干电池，导线和开关就是中间环节。

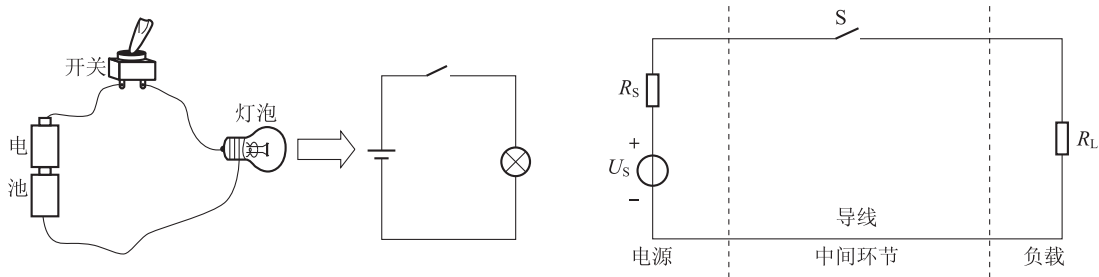


图 1-5 最简单的电路模型

#### 相关链接：

理想电路元件是指在一定条件下，突出其主要电磁特性，忽略其次要因素以后，把电路元件抽象为只含一个参数的理想电路元件。基本的理想电路元件有理想电阻  $R$ 、理想电感  $L$ 、理想电容  $C$ 、理想电压源  $U$  和理想电流源  $I$  五种。它们的图形符号如图 1-4 所示。

### 1.1.1.6 电路的基本物理量

#### 1. 电流

(1) 电流的概念。电荷的有规则的定向移动形成电流。它是一种物理现象。金属导体内的电流是由带负电的自由电子，在电场力的作用下，逆电场方向做定向运动而形成的。在导体两端施加电压时，电子便从负极流向正极。

(2) 电流的大小。电流的大小用  $I$  表示。单位时间内通过导体某一横截面的电荷量称为电流。恒定不变的电流，用符号  $I$  表示。交变电流，用符号  $i$  表示。设在单位时间 [单位：秒 (s)] 内通过导体某一横截面的电荷量为  $q$  [单位：库仑 (C)]，则通过该截面积的电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式中： $dq$  为时间  $dt$  内通过导线某一截面的电荷量。在国际单位制 (SI) 中，规定电流的单位为安培 (A)。

如果电流的大小和方向均不随时间变化，这种电流称为恒定电流，简称直流电流，用大写字母  $I$  表示，则

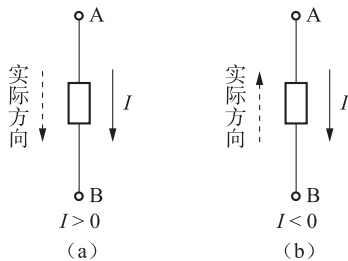
$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

一般情况下，随时间变化的物理量用小写字母表示，大写字母表示恒定物理量。

(3) 电流的方向。习惯上把正电荷的运动方向规定为电流的实际方向。但在复杂电路分析中，往往很难事先判断电流的实际方向，因此需要引入参考方向（即正方向）的概念。其方法是：任意假设某一支路中的电流参考方向，把电流看作代数数量；若计算结果为正，则表示电流的正方向与实际方向相同；若计算结果为负，则表示电流的正方向与实际方向相



反。电流的参考方向与实际方向如图 1-6 所示。



微课 1-3  
关联参考方向

图 1-6 电流的参考方向与实际方向

## 2. 电位

(1) 电位又称电势,是指单位正电荷在静电场中的某一点所具有的电势能。在电路中任选一节点设其电位为零,其他各点到参考点的电压降,便是该点的电位。

如图 1-6 所示,把 B 点作为零参考点(用“⊥”符号来表示),那么正电荷在 A 点所具有的电位能  $W_A$  与正电荷所带电量  $Q$  的比值,称为电路中 A 点的电位,用  $V_A$  表示,即

$$V_A = \frac{W_A}{Q} \quad (1-3)$$

电位的单位是焦耳/库仑 (J/C),称为伏特,简称伏 (V)。电位的高低是相对的,与所设零参考点有关,在电路中电位比零参考点高的一些点,它们的电位为正值;电位比零参考点低的一些点,它们的电位为负值。

(2) 电位的计算步骤:

- ① 任选电路中某一点为参考点,设其电位为零;
- ② 标出各电流参考方向并计算;
- ③ 计算各点至参考点间的电压,即为各点的电位。

在汽车电路中,通常用汽车车身和发动机等金属体作为公共线,并与电源负极相连接,视其为电路中的零参考点,也就是常说的“搭铁”,汽车电路符号用“⊥”表示。

## 3. 电压

在分析电子电路时,通常在电路中选择某一个固定点作为参考点,而把电路中其他各点与参考点之间的电压称为该点的电位。电位用  $V$  表示,单位也是 V (伏特)。

电压与电位的关系为:电场内两点之间的电压等于这两点之间的电位差,即

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-4)$$

式中:  $V_A$  为 A 点的电位;  $V_B$  为 B 点的电位。

电压的单位:用伏特 (V) 表示,计量较大的电压时用千伏 (kV),计量较小的电压时用毫伏 (mV)。其换算关系如下:

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V} = 10^6 \text{ mV}$$

## 4. 电流与电压的参考方向

尽管从物理课程中已经学过了在分析简单电路时,当元器件中有电流通过,其流动方向总是从高电位一端流向低电位的一端,这是电流流动的实际方向;或者当知道了电流流动的实际方向,也能判别出元器件两端的电位高低。然而,当分析复杂电路时,为了确定电流和

电压,就要写出含有电流、电压未知量的电路方程。在电路方程中,电流和电压前面的正负号至关重要,实际方向往往不易确定,这就要先假定一个方向,因此引入了电流“参考方向”,它是分析和计算电路的基础。

在大小和方向都不随时间变化的直流电路中,规定电压的实际方向由电位高的“+”端指向电位低的“-”端,即电位降低的方向。

在参考方向下,根据电流的正、负值,就可以确定电流的实际方向,如图1-6所示。在分析电路时,首先要假定电流的参考方向,并据此分析计算,然后再从结果的正、负值来确定电流的实际方向。如不作说明,电路图上标出的电流方向一般是指参考方向。

电流的单位:电流的标准单位是安培(A),计量微小电流时,可采用毫安(mA)或微安( $\mu\text{A}$ )来表示,其换算关系如下:  $1\text{ A} = 10^3\text{ mA} = 10^6\text{ }\mu\text{A}$ 。

电压在分析电路时也有方向性,电压的方向规定为由高电位指向低电位,即电位降低的方向。电压参考方向和电流参考方向一样,也是任意指定,分析电路时,假定某一方向是电位降低的方向,如所假定的电压方向与实际方向一致时,则电压为正值( $U > 0$ );电压参考方向与实际方向不一致时,则电压为负值( $U < 0$ )。因此,参考电压的值也是个标量,有正负之分;只有参考方向被假定后,电压的值才有正负之分,如图1-7所示。

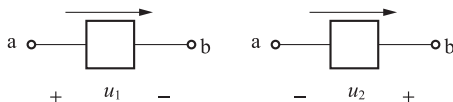


图1-7 电压的正方向

电路中各点的电位随参考点的选择不同而不同,但是任意两点之间的电位差是不变的,它不随参考点的变化而变化。也就是说,电路中任意两点间的电压与参考点的选择无关。虽然在电路中,参考点可以任意选取,但工程上常选择大地、设备外壳或接地点作为参考点,参考点电位为零,如汽车电路的负极搭铁。

## 5. 电动势

电动势是一个表征电源特征的物理量,是电源将其他形式的能转化为电能,在数值上,等于非静电力将单位正电荷从电源的负极通过电源内部移到正极时所做的功。它是能够克服导体电阻对电流的阻力,使电荷在闭合的导体回路中流动的一种作用。

理想电源的电动势与其两端的输出电压之间的关系为

$$E_{\text{BA}} = -U_{\text{AB}} \quad (1-5)$$

电动势的单位与电压相同,也用V来表示。

电动势的实际方向规定是从电路的低电位指向高电位,即与电压的方向是相反的,在直流电路中,电动势的实际方向是很容易通过直观确定的。

## 6. 电功率

当一段导体中有电流通过时,正电荷从高电位移向低电位端,电场力对它做了功,这个功通常称为电流的功,简称电功。其单位是焦耳(J)。

单位时间内所做的电功称为电功率,用 $P$ 来表示,在闭合电路中(如图1-5中),电源产生的电功率为

$$P_{\text{电源}} = IU_{\text{S}} \quad (1-6)$$



负载取用的电功率为

$$P_{\text{负载}} = IU_L \quad (1-7)$$

电功率的单位是瓦特，简称瓦 (W)。

对于电源，一般将电动势和电流的方向选为一致，若  $P_{\text{电源}} > 0$ ，表示电源向电路提供电功率；若  $P_{\text{电源}} < 0$ ，则表示电源从电路取用电功率，起着负载的作用（如正在充电的蓄电池）。

对于一个实际的电源，由于有内阻，其自身也会消耗小部分的电功率：

$$P_{\text{损耗}} = I^2 R_0 \quad (1-8)$$

式中： $R_0$  为电源的电阻。

对于负载，一般将电压和电流的方向选为一致，若  $P_{\text{负载}} > 0$ ，表示该段电路取用或消耗电功率；若  $P_{\text{负载}} < 0$ ，则表示该段电路提供电功率，起着电源的作用。

这三者之间有如下的关系： $P_{\text{电源}} = P_{\text{负载}} + P_{\text{损耗}}$  (1-9)



## 1.1.2 电路的工作状态及电气设备额定值

### 1.1.2.1 电路的三种工作状态

电路的工作状态有三种：通路状态、断路（或开路）状态、短路状态，如图 1-8 所示。

#### 1. 通路状态

要使电气设备工作正常，就应当使电气设备在额定电压下工作，而且当用电器中通过的电流达到额定电流时，这种工作状态称为额定工作状态。电气设备工作在额定状态时，是最经济、合理、安全、可靠的，能够保证电气设备有一定的使用寿命。例如，标有 220 V、100 W 的灯泡，在使用时不能接在 380 V 的电源上，应尽可能使其在额定状态下工作，否则就可能被烧坏。如图 1-8 (a) 所示，开关 S 合上以后，若负载  $R_L$  两端的电压为额定电压，流过的电流为额定电流，则电路处在额定工作状态。由于电源电压经常波动，电气设备在实际使用时电压、电流和功率不一定等于它们的额定值。



动画 1-2  
电路的三种状态



微课 1-4  
电路状态

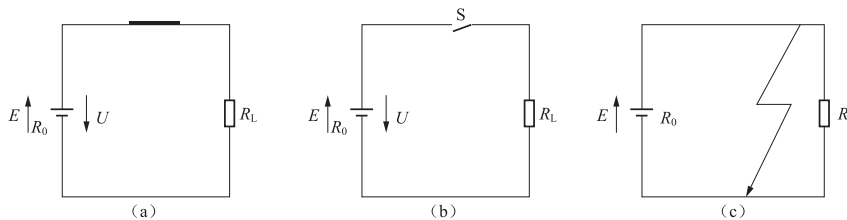


图 1-8 电路的三种工作状态

(a) 通路；(b) 断路；(c) 短路

#### 2. 断路（或开路）状态

断路就是电源与负载没有构成闭合回路。如图 1-8 (b) 所示，当开关 S 断开时，电路就处于断路（或开路）状态，此时外电路的电阻可视为无穷大，因此电路特征：电路中的电流为零，即  $I = 0$ 、 $U = E$ 。

在汽车接触器中，断路是由填料不足导致接触不良造成的，如图 1-9 所示。

断路(接触不良)  
由填料不足导致

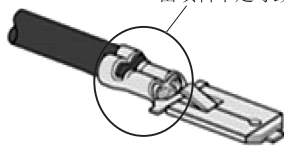


图 1-9 汽车接触器的断路现象